

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ДЕФОРМАЦИИ И СИЛ ТРЕНИЯ ПРИ ФРИКЦИОННОМ УПРОЧНЕНИИ ЛЕНТЫ

Для обработки поверхности стальной ленты трением создана установка, позволяющая в широком диапазоне нагружать инденторы, через которые можно перемещать ленту и исследовать влияние фрикционного упрочнения на прочностные характеристики ленты [1]. В процессе такой обработки на поверхности ленты могут возникать как упругие, так и пластические деформации. В чистом виде, как известно, они практически не существуют, но можно выделить условия, когда преобладают те или иные деформации.

В прочностных расчетах нагрузок используются стандартные показатели сопротивления металла деформации в холодном состоянии – пределы упругости и пластичности: предел упругости $\sigma_{0,05}$ – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05 % от длины l_0 базового участка образца; предел текучести (условный) $\sigma_{0,2}$ – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2 % от начальной базовой длины.

Используя условие несжимаемости металла и отсутствие уширения при протяжке ленты через инденторы, получаем соотношение между начальной h_0 и конечной h_1 толщинами ленты для упругой деформации

$$\frac{h_0}{h_1} = 1,0005$$

и для пластической деформации

$$\frac{h_0}{h_1} = 1,0020.$$

Нагрузки, соответствующие этим деформациям, вычислим инженерным методом, состоящим в совместном решении дифференциального уравнения равновесия элементарного объема в очаге деформации и приближенного условия пластичности. Для решения нашей задачи введем понятие приближенного условия упругости, объединив оба понятия более общим понятием о приближенном условии сопротивления деформации σ_k .

Приняв за основу задачу о волочении проволоки через круглую волоку [2], получим уравнение для расчета напряжения протяжки полосы через неподвижные цилиндрические инденторы

$$\sigma_x = \sigma_0 + \sigma_k \cdot (1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot \ln \frac{h_0}{h_x},$$

где σ_0 – напряжение противонатяжения, σ_k – напряжение сопротивления деформации, α – приведенный угол, h_x – текущая толщина ленты, μ – коэффициент трения.

Ввиду малых значений обжатий $\Delta h = h_0 - h_l$ цилиндрическую форму геометрического очага деформации можно представить в виде конической матрицы, у которой:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta h}{2l},$$

где l – длина очага деформации.

Используя дополнительные геометрические построения и допущения [3], имеем:

$$l = \sqrt{R \cdot \Delta h}.$$

На экспериментальной установке противонатяжение отсутствует ($\sigma_0 = 0$). В этом случае усилие протяжки

$$F_1 = \sigma_1 \cdot h_l \cdot b = \sigma_k \cdot (1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot \ln \frac{h_0}{h_x} \cdot h_l \cdot b,$$

где b – ширина ленты.

Нормальное напряжение на контактной поверхности определяется из приближенного условия сопротивления деформации:

$$P_x = \sigma_k - \sigma_x.$$

В первом приближении решения задачи определим среднее контактное нормальное напряжение

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{2} (P_{x=0} + P_{x=l}) = \frac{1}{2} \cdot \sigma_k \cdot (1 + (1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot \ln \frac{h_0}{h_x}).$$

Полное давление на индентор

$$F_2 = P_{\text{ср}} \cdot (1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot b \cdot l.$$

Используя полученные уравнения для расчета внешних интегральных нагрузок F_1 и F_2 , построим номограмму (рис. 1), позволяющую спланировать эксперименты для условий упругой и пластической деформаций, а также оценим величину сил трения, воздействующих на поверхность ленты.

Номограмма построена для ленты, изготовленной из аустенитной стали шириной 3,5 мм и толщиной 0,4 мм, у которой $\sigma_{0,05} = 900$ МПа и $\sigma_{0,2} = 1020$ МПа.

В поле номограммы (рис. 1) выделены три зоны: У – зона преимущественно упругих деформаций, П – зона преимущественно пластических деформаций, У + П – переходная зона упруго-пластических деформаций.

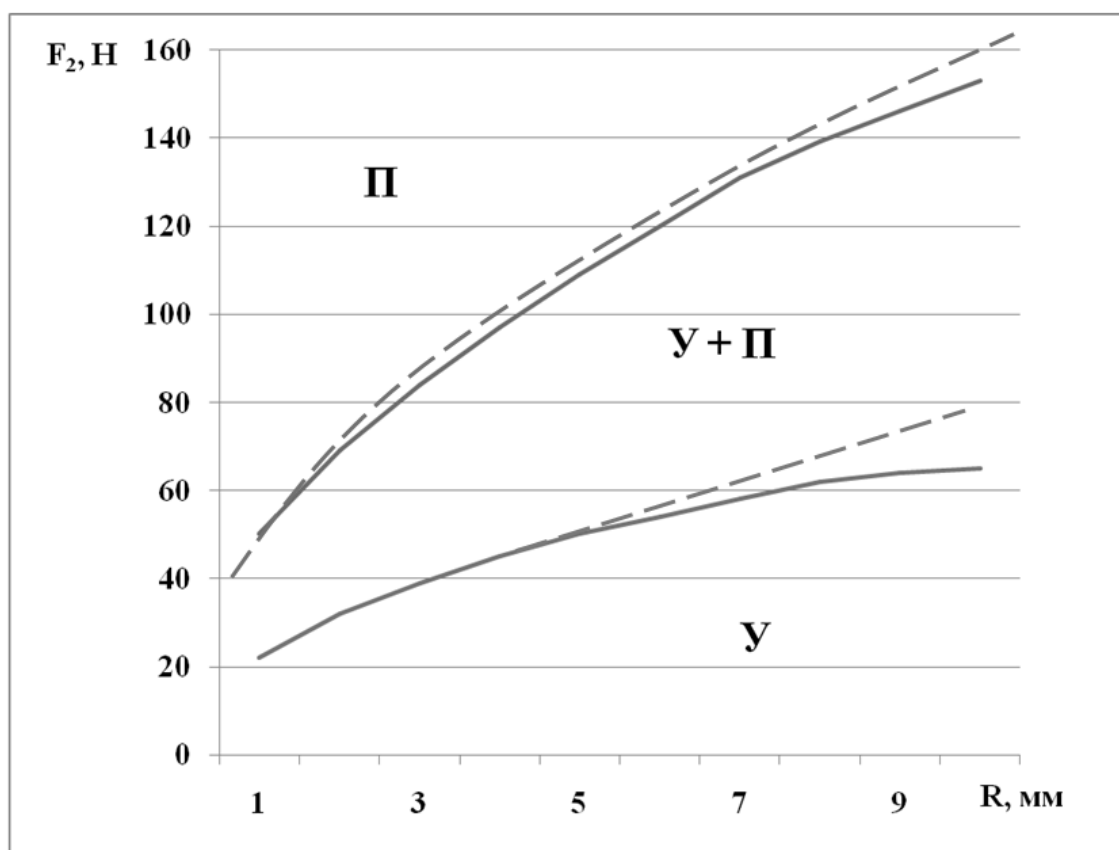


Рис. 1. Номограмма для определения усилия давления F_2 в зависимости от радиуса индентора R и зоны деформации (сплошные линии – $\mu = 0,1$; пунктирные – $\mu = 0$)

Усредненная оценка сил трения может быть выполнена по уравнению [4]:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F_2}{2 \cdot b \cdot l} \cdot \left(\frac{F_1}{F_2} \left(1 - \frac{F_0}{F_1} \right) \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \right).$$

Оценка сил трения, возникающих на поверхности ленты при протяжке для $\sigma_0 = 0$, приведена на рис. 2. Переход из зоны упругих деформаций в зону пластических деформаций оказывает существенно меньшее влияние на величину сил трения, чем применение смазки, учитываемое через коэффициент трения. Смазка также оказывает влияние на величину сил трения в зависимости от радиуса индентора.

Изложенная методика определения вида деформации и сил трения позволяет более полно представить процесс фрикционного упрочнения и исследовать его влияние на прочностные характеристики ленты.

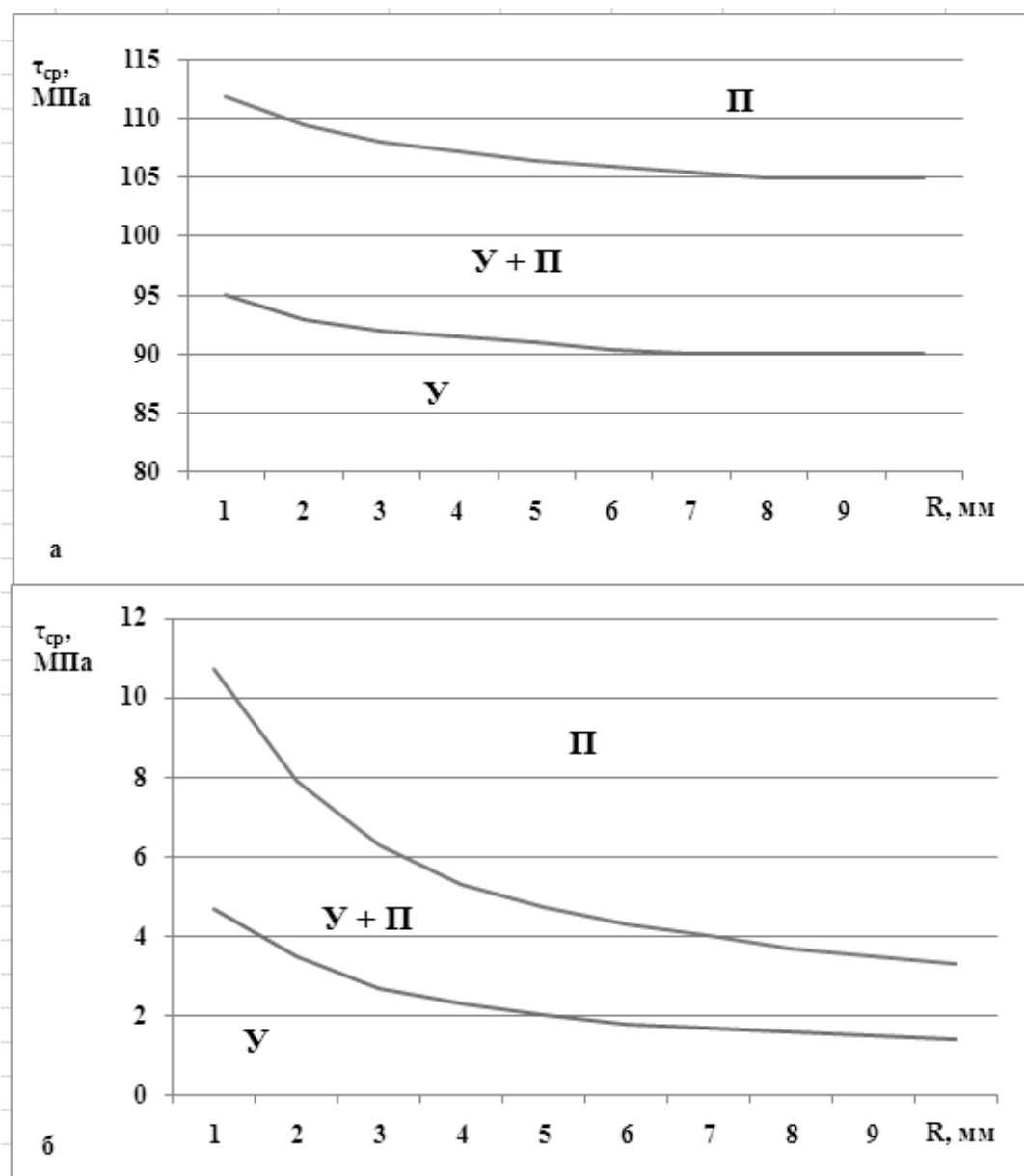


Рис. 2. Зависимость средних сил трения $\tau_{ср}$ от радиуса индентора R , зоны деформации и коэффициента трения μ (а) $\mu = 0,1$; б) $\mu = 0$)

Список использованных источников

1. Бараз В.Р., Минеева О.Н., Картак Б.Р. Поверхностная фрикционная обработка пружинной стали аустенитного класса: особенности структуры и свойств // МиТОМ. 2010. № 10. С. 20–22.
2. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. 836 с.
3. Целиков А.И. Основы теории прокатки. М.: Металлургия, 1965. 248 с.
4. Леванов А.Н. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин, Б.Р. Картак, Ю.В. Ашпур, Ю.И. Спасский. М.: Металлургия, 1976. 416 с.